



JEDNOSTAVNI SUSTAV S LITIJ-IONSКИМ BATERIJAMA

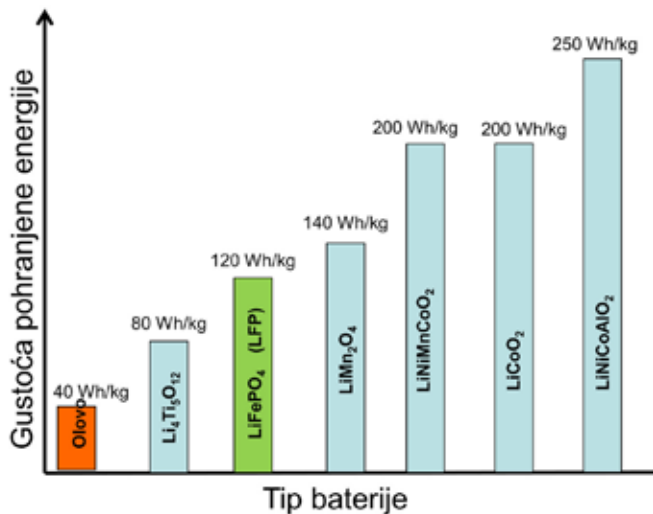
Tekst i foto: **Josip Zdenković**

U seriji o fotonaponskim sustavima na plovilu drznuli smo se dirnuti u tabu temu primata olovnih baterija na plovilu. Pokazali smo tako činjenicama kako je investicijski trošak za kWh izvučen iz modernih Li-ion baterija povoljniji od kWh iz omiljenih olovnih baterija. Uvodno ćemo u članku ukratko ponoviti najvažnije o samim Li-ion baterijama, a potom ćemo opisati jedan jednostavan, početnički, fotonaponski sustav s Li-ion baterijama, primjenjiv i na plovilima.

Prva istraživanja s Litijским baterijama su započela 1912. No prisjetit ćemo se, ne tako davne 1991. godine i „porođajnih muka“ kada su prve serije japanskih mobilnih telefona s novorazvijenim litijским baterijama bile povučene zbog opasnosti od plinjenja i u konačnici eksplozije u korisničko lice... Tada se s litija prešlo na generaciju Li-ion baterija. Slično kao i kod olovnih baterija, Li-ion baterija koristi katodu (pozitivni pol) i anodu (negativni pol) i vodljivi elektrolit. Katoda je litijev metalni oksid, a anoda

je porozni ugljik. Za vrijeme pražnjenja anoda u procesu oksidacije predaje elektrone u strujni krug, dok katoda u redukcijskom procesu prihvaća elektrone iz strujnog kruga. U elektrolitu struju prenose pak ioni Litija. Za vrijeme punjenja proces je obrnut.

Danas se poznati i istraženi tipovi Li-ion baterije nazivaju prema materijalu iz kojeg je izrađena katoda, dok je anoda u svim ovim tipovima od grafita. Svi ovi tipovi se razlikuju po količini energije koja se može spremi u kg baterije. Zašto se



Slika 1.: Gustoća pohranjene energije Li-ion baterija u usporedbi s olovnim baterijom.

komercijalno ne koriste samo baterije s najvećom gustoćom tj s 250Wh/kg prema slici 1? Li-ion baterije su osjetljive na prepunjavanje i pretjerano pražnjenje, pa je u smislu sigurnosti danas komercijalno najsigurniji tip LiFePO_4 litij-željezo-fosfat baterija (skraćeno LFP baterija). Ostali tipovi su još u istraživačkim laboratorijima autoindustrije! Mi ćemo se u nastavku serije baviti isključivo LFP baterijama.

ŠTO TREBA OSNOVNO ZNATI O LFP BATERIJI?

Komercijalno dostupna LFP baterija ima „pakiranje“ energije od 120 Wh/kg, dok olovna baterija ima svega 40 Wh/kg. LFP baterija omogućava 2 do 4 puta veći broj ciklusa pražnjenja i punjenja u odnosu na olovnu bateriju. LFP baterija može dati u jednom pražnjenju gotovo cjelokupnu energiju bez opasnosti skraćenja životnog vijeka, dok se olovna baterija smije prazniti samo do 50% kapaciteta kako bi se očuvao životni vijek. Ove karakteristike imaju za posljedicu da za istu količinu energije koliko može dati jedna LFP baterija u svome životnom vijeku, odgovarajuće olovne baterije će biti i do 20 puta

veće mase! Podsjetit ćemo na to i ponavljanjem slike iz prošlog članka koja pretpostavlja u oba slučaja jednaku energiju (cca 4 kWh) na raspolaganju trošilima.

Napon osnovne ćelije LFP baterije je 3,2 V dok je napon osnovne ćelije olovne baterije 2 V. Spajanjem 4 ćelije u seriju dobivamo nazivno 12,8 V bateriju, a spajanjem 8 ćelija u seriju dobiva se nazivno 25,6 V baterija. Za olovnu bateriju vrijedi da će ona ubrzano stariti kroz neželjeni proces nepovratne sulfatizacije ako se ne puni redovito (najmanje jednom mjesečno) do punog kapaciteta, odnosno ako ostane polovično napunjena kroz neko dulje vrijeme (preko mjesec dana!). LFP baterije ne moraju biti napunjene do kraja i to je njihova glavna prednost. Čak i u dugotrajnom stanju polunapunjenosti ne gube kapacitet kao što je slučaj s olovnim baterijama. LFP baterije mogu davati energiju u širokom rasponu temperatura od -20 do + 50 stupnjeva C, no puniti ih se smije samo pri temperaturi od 5 stupnjeva na više. LFP baterije imaju izuzetno niski unutarnji otpor što rezultira malom promjenom napona

LFP baterija može dati u jednom pražnjenju gotovo cjelokupnu energiju bez opasnosti skraćenja životnog vijeka, dok se olovna baterija smije prazniti samo do 50% kapaciteta kako bi se očuvao životni vijek.



SCHRACK STORE

Tisuće artikala na raspolaganju spremnih za preuzimanje



INTERNET TRGOVINA

Iz ureda ili u pokretu

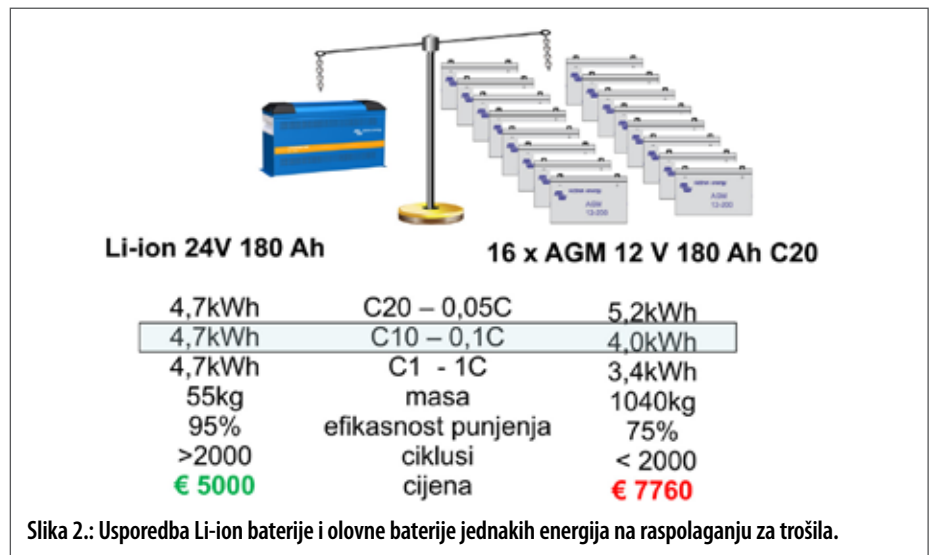
www.schrack.hr

Get Ready. Get Schrack.

baterije u širokom rasponu struje koja izlazi iz baterije. Kažemo da LFP baterije imaju tvrdi naponsku karakteristiku, za razliku od olovnih baterija koje imaju mekanu naponsku karakteristiku. Napon olovne baterije pada značajno i to proporcionalno struji koja izlazi iz olovne baterije, a zbog pada napona na unutarnjem otporu baterije.

U nekim primjenama efikasnost baterije u procesu punjenja je od presudne važnosti. Potpuno ispražnjena olovna baterija ima efikasnost od svega 80% što znači da se svega 80% privedene energije može spremirati u bateriju pretvaranjem u kemijsku energiju, a ostalo se pretvara u toplinsku energiju, tj u nekorisnu toplinu koja zagrijava bateriju. U LFP bateriju se može pospremiti 92% privedene električne energije pretvorbom u kemijsku energiju. Olovna baterija je bila to neefikasnija što je bila bliže napunjenom stanju, tako da se od stanja 80% do 100% napunjenosti baterije oko 50% privedene električne energije pretvara u nekorisnu toplinu, a samo pola odnosno ili pri kraju i manje od pola se pretvara u kemijsku. U slučaju LFP baterije efikasnost punjenja u samoj završnici punjenja je i dalje vrlo visoka, čak 90%. Ako znamo da olovna baterija zbog svojeg zdravlja treba biti što češće napunjena do vrha, onda je jasno koliko se električne energije nepotrebno rasipa.

LFP baterije su jednostavnije za punjenje od olovnih baterija. Napon punjenja može varirati o 14 do 15 V, odnosno od 28 do 30 V (no samo dok su sve ćelije ispod 4,2 V). Kako LFP baterije ne moraju za održavanje svoga zdravlja biti napunjene do kraja, tako pri spajanju u paralelu neće doći do ubrzanog starenja ako neka baterija u paralelnom



slogu trajno bude slabije napunjena od druge! Pri spajanju olovnih baterija u paralelu posebno smo pazili da priključni kabeli do punjača budu jednakog otpora kako neka baterija ne bi trajno ostajala slabije napunjena čime bi s vremenom izgubila kapacitet, tj ubrzano starila.

VAŽNE ČINJENICE:

LFP baterije su osjetljive na pretjerano pražnjenje i prepunjavanje. Ako napon na ćeliji padne ispod 2,5 V, dakle u osnovnoj bateriji s 4 ćelije ispod 10V, u većini slučajeva ćelija će se nepovratno uništiti. Može se pokušati „oživljavanje“ takve ćelije punjenjem malom strujom od 0,1C. Isto će se dogoditi i ako napon na ćeliji preraste 4,2 V, dakle u osnovnoj bateriji 16,8V. Previsok napon na ćeliji je posebno opasan jer može izazvati eksploziju. Važno je znati i da se u procesu punjenja LFP baterija ne događa

samoujednačavanje ćelija, a kako i same ćelije nisu nikada proizvodno potpuno jednake, uvijek će neka ćelija postati prepunjena ili potpuno ispražnjena prije ostalih što može dovesti do uništenja cijele baterije. Olovne baterije omogućavaju samoujednačavanje ćelija sve dok su ćelije ispravne. Što dulje rade u ciklusima punjenja i pražnjenja, to će ćelije u olovnoj bateriji biti to ujednačenije. Kako to u LFP bateriji nije slučaj, tako se s vremenom može dogoditi da poneka ćelija bude ili previsoke ili preniske naponske razine iako je napon punjača pri punjenju, odnosno same baterije pri pražnjenju u granicama dozvoljenog.

Stoga LFP baterije moraju imati uređaj za nadzor stanja baterije (engl. battery management system, kratica : BMS). BMS vodi računa o svakoj ćeliji posebno za vrijeme punjenja kako bi u procesu punjenja i pražnjenja svaka ćelija bila uvijek u dozvoljenim granicama napona. Ako bi pri punjenju napon neke ćelije porastao preko dozvoljene granice, BMS će dati signal za isključenje punjenja baterija i tako spriječiti razaranje ćelije, odnosno uništenje baterije. BMS će voditi računa i prilikom pražnjenja baterije, tj dat će nalog za odspajanje trošila ako bi napon pao na nekoj ćeliji ispod razine dozvoljenog. U samoj bateriji se uz svaku ćeliju nalazi sklop za ujednačavanje napona ćelije koji osim funkcije ujednačavanja napona stalno mjeri napon i temperaturu pojedine ćelije. Sklop za ujednačavanje napona ćelija u samoj bateriji vodi računa da



one ćelije koje se pune „brže“ pričekaju one koje se pune „sporije“. Sve kako bi se na kraju punjenja sve ćelije ujednačile naponom do razlike od 10 mV. Kako se to radi? One ćelije koje imaju previsoki napon pri kraju punjenja dopunjavaju one ćelije koje imaju pre niski napon.

Na slici 3. se vidi da LFP baterija osim energetske priključke ima još i informacijske priključke. BMS preko ovih informacijskih priključaka komunicira s elektronskim sklopom za ujednačavanje napona ćelija u samoj bateriji i to o stanju svake ćelije. BMS može tako proizvesti signal za odspajanje tereta ako je neka ćelija ispod 2,5V, odnosno proizvesti signal za zaustavljanje punjenja ako je neka ćelija preko 4,2V. Prati se i mjeri temperatura svake ćelije pa se tako dopušta rad samo dok je temperatura u nekoj ćeliji ispod 50 stupnjeva C. Ako je pri punjenju baterije temperatura baterije manja od 5 stupnjeva C tada BMS stvara signal za prekid punjenja. Tako opremljene baterije se mogu spajati u seriju do 4 komada i u paralelu do 10 komada. Razumijevajući upravo rečeno uočimo da se nove baterije prije spajanja moraju napuniti samostalno do kraja i tek onda spajati u serijsko-paralelne kombinacije. Punjenje novih baterija se izvodi uz napon 14,2 V i uz struju ne veću od C/20 (1/20 kapaciteta baterije).



Slika 4.: Nadzor stanja LFP baterije preko pametnog telefona.



Slika 5.: BMS12/200 sustav za nadzor stanja LFP baterija.

Preporučeni napon punjenja je 14 do 14,4 V (optimalno 14,2 V). Preporučeni napon mirovanja, dakle kada baterija nema niti ulaza niti izlaza struje je 13,5 V. Baterije bi bilo dobro jednom mjesečno puniti s 14 do 14,4 V kako bi se ćelije pouzdano ujednačile. Preporučena ustaljena struja pražnjenja je do 1C, a ustaljena struja punjenja do 0,5 C.

Važno je za uočiti da će BMS - uređaj za nadzor baterije isključiti trošila prije razaranja baterije no gotovo u svakoj primjeni odlučit ćemo se da neki uređaji ostaju trajno spojeni na bateriju – primjer za to je sam BMS. Nakon što je BMS detektirao razinu preniskog napona i odradio isključenje trošila, tada se iz baterije do njena uništenja smije izvući još svega 1% kapaciteta (1 Ah za 100 Ah bateriju). Trošilo koje troši 10 mA iz baterije 200 Ah može tako ostati priključeno još otprilike 8 dana prije nego što će 10mA struja uništiti skupocjenu bateriju.

LFP baterije imaju ugrađeno Bluetooth sučelje pa je moguće preko pametnog telefona pratiti stvarno stanje svake ćelije, slika 4.

Na slici 5. je prikazan najjednostavniji sustav za nadzor stanja LFP baterije: BMS12/200.

BMS12/200 sustav ima dva energetska priključka: AB priključak (engl. alternator-battery) prikazan na slici 6. i LB priključak (engl. load-battery) prikazan na slici 7.

Osnovna zadaća AB priključka je da spriječi pražnjenje starter baterije od strane LFP baterije, DC ili AC trošila. Struja može iz alternatora teći samo prema LFP bateriji i to samo ako je napon na starter bateriji veći od 13V. Struja ne može teći od strane LFP baterije prema starter bateriji, osiguravajući tako LFP

OBNOVLJIVI IZVORI

SUSTAVI

ZGRADARSTVO

KABELI

RASVJETA

ENERGIJA

INDUSTRIJA

VAŠ PARTNER U ELEKTROTEHNICI

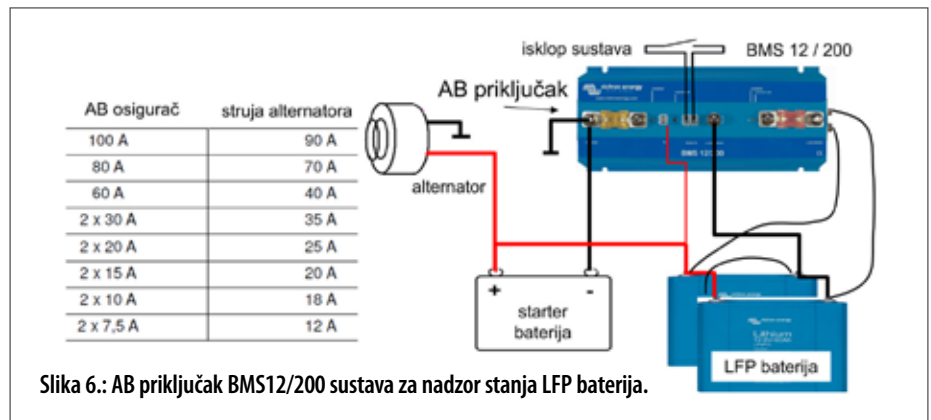
SCHRACK
TECHNIK

www.schrack.hr

Get Ready. Get Schrack.

bateriju od pražnjenja u nastojanju da LFP baterija napuni starter bateriju. Preveliki ulazni vrhovi napona u prijelaznim pojavama rada alternatora su spušteni na dozvoljenu razinu za LFP bateriju. Struja punjenja LFP baterije iz alternatora se ograničava elektronički pomoću osigurača na AB ulazu. Osigurač na AB ulazu služi i kao mjerni otpornik! Osigurač od 60 A će tako limitirati struju punjenja iz alternatora na 40A. Maksimalno dozvoljeni osigurač je 100A, što ograničava struju punjenja LFP baterije na 90A. Izbor ispravnog osigurača na AB priključku će zaštititi LFP bateriju od prevelike struje punjenja (što je važno za LFP baterije malog kapaciteta!). Osiguračem na AB ulazu će se zaštititi i alternator od preopterećenja u slučaju LFP baterije velikog kapaciteta; većina alternatora će pregorjeti ako dulje od 15 minuta radi na svojoj maksimalnoj struji. Osiguračem na AB ulazu štiti se i instalacija od preopterećenja, dakle od topljenja izolacije kabela. Struja punjenja iz alternatora se dodatno ograničava na sigurnu razinu u slučaju neujednačenosti stanja ćelija ili pregrijavanja ćelija. Tanki crni vodiči prikazuju spoj informacijskog kabela preko kojega BMS dobiva informacije o pojedinim ćelijama priključenih baterija. Do 10 baterija se može spojiti u paralelu. Umjesto alternatora na AB ulazu može biti spojen i poseban punjač baterija.

LB priključak BMS12/200 sustava za nadzor LFP baterija može provoditi do 200A u oba smjera trajno. To znači da se preko LB priključka LFP baterija može i puniti i prazniti. Najviša razina struje pražnjenja LFP baterije preko LB priključka je ograničena elektronički



Slika 6.: AB priključak BMS12/200 sustava za nadzor stanja LFP baterija.

na 400A. Osigurač na LB priključku (do 200A) treba biti određen prema trošilima, odnosno presjeku ožičenja trošila. Pražnjenje baterije preko trošila se obustavlja u trenutku kada napon najslabije ćelije padne ispod 3V. Struja punjenja preko LB priključka se održava na sigurnoj razini ako se prijeđe razina neujednačenosti ćelija ili se dogodi pregrijavanje u nekoj ćeliji.

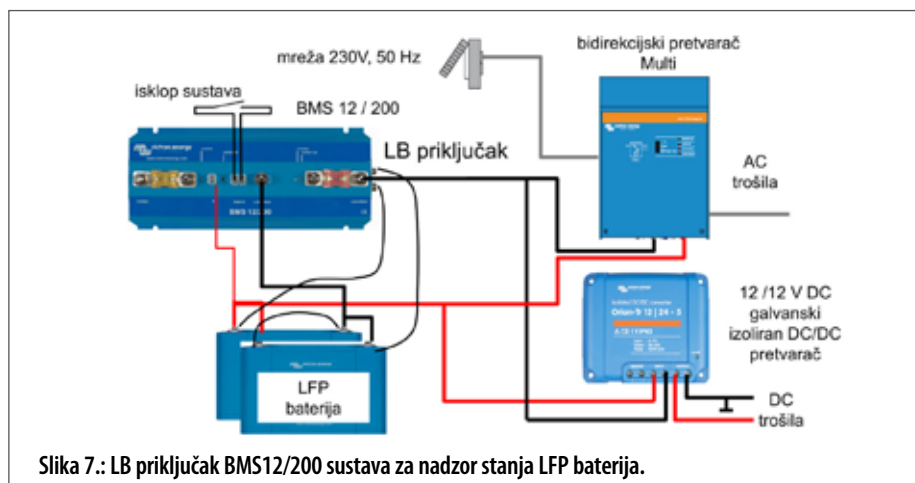
Primijetite da minus pol LFP baterije nije povezan na masu. Ako trošila na 12 V DC koriste masu kao vodič, onda se LFP baterija spaja s DC/DC pretvaračem 12V/12V koji mora imati galvansko odvajanje ulaza od izlaza. Izlaz DC/DC pretvarača osigurava trošilima stabilan DC napon i njegov minus se smije spojiti na masu. Primijetite da je BMS spojen s masom samo na AB priključku. BMS također omogućava isključivanje trošila sustava preko upravljačkog ulaza odnosno upravljačke sklopke. Iako se trošila isklapaju komandom preko upravljačkog ulaza, još uvijek je moguće i preko AB i preko LB priključka punjenje

baterije. Otvaranjem upravljačkog ulaza onemogućeno je jedino pražnjenje LFP baterije preko trošila na LB priključku.

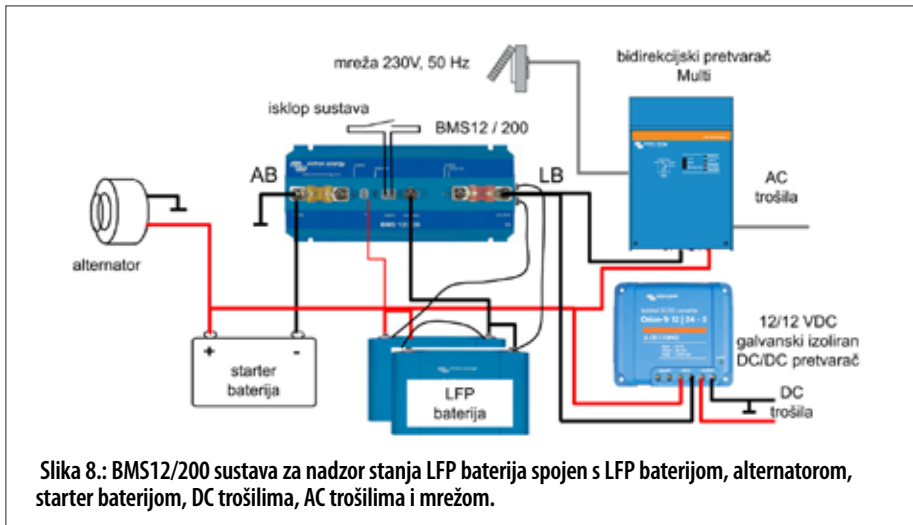
I konačno na taj sustav moguće je priključiti već u ranijim nastavcima serije opisani MPPT 75/15 regulator punjenja s fotonaponskim modulima. Kako to izgleda vidljivo je na slici 9. Podsjetimo, MPPT 75/15 regulator punjenja ima već u sebi osigurač prema bateriji tako da se vrlo jednostavno priključuje u sustav. Po želji može se u sustav dodati i nadzornik baterija BMV712. No tek ne zaboravite da je on spojen stalno na bateriju pa je kako smo u uvodu rekli, iako BMS odspoji trošila na LB priključku, ipak je potrebno voditi računa da gotovo nikakva potrošnja nadzornika BMV 712 ne uništi kroz nekoliko dana potpuno ispražnjenu LFP bateriju...

ŠTO MOŽE OVAJ SUSTAV?

Sa strujom alternatora do maksimalno 80A može se optimalno puniti baterija LFP baterija 160 do 200Ah. Preporučena struja punjenja LFP baterije pod nadzorom BMSa je manja ili jednaka 0,5C. To znači da se bateriju od 200Ah preporuča puniti s najviše 100A. Preporučena struja pražnjenja je do 1C, dakle za bateriju 200Ah to je do 200A. Na bateriju 200Ah možemo dakle priključiti izmjenjivač snage do cca 2000 VA. Pri dimenzioniranju izmjenjivača to je granična vrijednost snage za ovaj BMS i ona mora biti odgovarajuće manja ako se istovremeno očekuje i snaga DC potrošnje. LFP baterija 200Ah pod nadzorom BMSa se može prazniti maksimalno s 500A vršno, dakle gotovo ne moramo voditi računa o vršnoj struji pražnjenja kraćega trajanja. Moramo voditi računa samo o kapacitetu baterije i koliko dugo će naša trošila dobivati



Slika 7.: LB priključak BMS12/200 sustava za nadzor stanja LFP baterija.



Slika 8.: BMS12/200 sustava za nadzor stanja LFP baterija spojen s LFP baterijom, alternatorom, starter baterijom, DC trošilima, AC trošilima i mrežom.

energiju pri projektiranoj trajnoj struji pražnjenja. Punjenje baterije samo preko FN modula od 250Wp će u prosječnom ljetnom danu dati cca 1 kWh energije u bateriju. U bateriji je spremjeno cca 2,4 kWh. Dakle u ovom sustavu bismo mogli po potrebi priključiti još jedan do dva MPPT 75/15 regulatora, svaki sa svojim modulom i tako bi nam se LFP baterija mogla gotovo potpuno puniti iz FN modula, praktički bez potrebe punjenja iz alternatora.

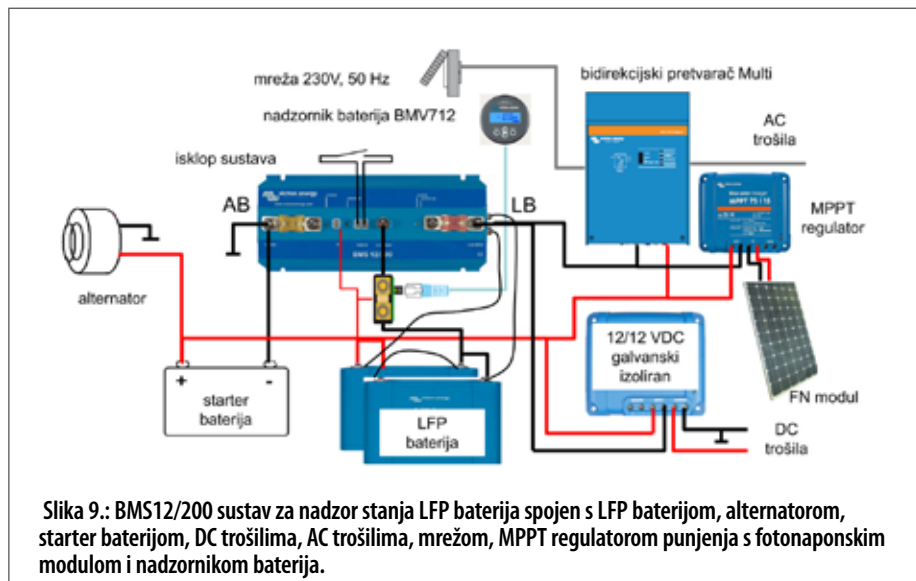
Ovaj upravo opisani jednostavni sustav ipak ima svoja ograničenja. Osnovno mu je ograničenje primjena samo 12,8V baterija i s time povezana ipak u konačnici mala snaga sustava. Za veće sustave potrebno je LFP baterije spojiti u seriju kako bi se dobio viši napon i naravno po potrebi u paralelu kako bi se dobio viši kapacitet.

ZAKLJUČAK

Ponovili smo osnovna znanja o LFP baterijama i opisali jedan jednostavni otočni fotonaponski sustav s LFP baterijama primjenjiv na plovilima. U sljedećem broju ćemo opisati BMS-uređaj za nadzor LFP baterija koji podržava i veće sustave. Tu će biti mnoštvo shema, detalja, vjerujem interesantnih za sve!

Ne mislimo da ćete pojuri i realizirati upravo ovaj sustav. Pričekajte i uživajte u ljetu, nastavci s LFP baterijama su tek počeli i tek nakon nekoliko nastavaka će doći trenutak za odluku o baš vašem rješenju. Kao i uvijek SCHRACK TECHNIK tim vam je na raspolaganju za sva moguća pitanja.

josip.zdenkovic@schrack.hr



Slika 9.: BMS12/200 sustav za nadzor stanja LFP baterija spojen s LFP baterijom, alternatorom, starter baterijom, DC trošilima, AC trošilima, mrežom, MPPT regulatorom punjenja s fotonaponskim modulom i nadzornikom baterija.



SCHRACK
TECHNIK

VAŠ PARTNER U
ELEKTROTEHNICI

victron energy
BLUE POWER
OFFICIAL DISTRIBUTOR

www.schrack.hr

Get Ready. Get Schrack.